

DIZAJN, KLASIFIKACIJA, PERSPEKTIVA I MOGUĆA APLIKACIJA DRONOVA U POLJOPRIVREDU SRBIJE

**Oljača V. Mićo^{*1}, Pajić Miloš¹, Gligorević Kosta¹, Dražić Milan¹, Zlatanović Ivan¹,
Aleksandra Dimitrijević¹, Rajko Miodragović¹, Zoran Mileusnić¹, Rade Radojević¹,
Milovan Živković¹, Dragan Petrović¹, Dušan Radivojević¹, Mirko Urošević¹,
Goran Topisirović¹, Branko Radičević¹, Olivera Ećim¹, Nebojša Balac¹**

¹Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Katedra za poljoprivrednu tehniku,
Nemanjina 6, 11080 Beograd-Zemun, Republika. Srbija

Sažetak: U radu su analizirane mogućnosti i potrebe upotrebe specifičnih vrsta robota (mini bespilotnih letelica sa različitim dizajnom, označane kao UAV) i način korištenja u poljoprivredi (agrodron). Časopis Fortune je 2015.godinu proglasio kao godinu sve većeg i široko rasprostranjene upotrebe UAV letelica, u različitim oblastima ljudske delatnosti, posebno u poljoprivredi i šumarstvu (75% upotrebe). Ovo je naročito važno za velike farme i oblasti pod šumama, gde UAV ima mnogo korisnih funkcija i veoma isplative komercijalne aplikacije.

Danas, potrebe za UAV imaju nagli porast sa različitim mogućnostima kako za civilne tako i za vojne potrebe. Takođe postoji značajan interes za razvoj novih bespilotnih letelica koji mogu autonomno leteti u različitim okruženjima i lokacijama i obaviti različite misije i zadatke. Tokom protekle decenije XXI veka, širok spektar aplikacija za bespilotne letelice je dobio značaj koji je doveo do konstrukcija različitih tipova bespilotnih UAV, različitih veličina i težina i svakako namene.

Naravno, tehnološki razvoj kod dron sistema je veoma tehničko-tehnološki napredan i revolucionaran, uz razvoj mobilnih i pametnih (android) telefona i interneta, brzo otvara puteve i mogućnosti za mnoge korisnike u definisanju nove budućnosti implementacije UAV u različitim oblastima primene.

Kompanija Livona d.o.o., Beograd i Institut za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivredni fakultet u Beogradu, u tehničkoj saradnji imaju planove o implementaciji modela mikro drona EBee SK Livona RTK u narednim generalnim planovima za

^{*} Kontakt autor. E-mail adresa: omico@agrif.bg.ac.rs

Rezultati istraživanja su deo aktivnosti projekta: *Unapređenje biotehnoških postupaka u funkciji racionalnog korišćenja energije, povećanja produktivnosti i kvaliteta poljoprivrednih proizvoda*, broj TR 31051, Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja R. Srbije.

inspekciju, zaštitu i korišćenje poljoprivrednih zemljišta Republike Srbije, i posebno teritorije Opštine Stara Pazova (351 km²), gde je posebno mesto poljoprivrednog preduzeća Napredak a.d.

VekomGeo d.o.o, Beograd u saradnji sa Institutom za poljoprivrednu tehniku Poljoprivrednog fakulteta u Beogradu ima planove o budućoj upotrebi drona model Aibot X6, za nadzor na površinama od 600 km² (i poljoprivredna zemljišta) otvorenog kopa R.B. Kolubara ili drugih objekata.

Institut za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivredni fakultet u Beogradu, ima planove o saradnji sa opštinom Ub, zbog upotrebe modela mikro drona Hubsan H109S Ks4 PRO u inspekciji oko zaštite i načina korišćenja zemljišta i voda na ovoj teritoriji (456 km²).

Ključne reči: dron, modeli, klasifikacija, perspektive, primena u poljoprivredi, zaštita zemljišta i vode u R.Srbiji

UVOD

Dronovi su definisani [1], [2] kao bespilotna vazduhoplovna vozila (UAVs) koji mogu preleteti prostor od nekoliko desetina metara do više hiljada kilometara, ili male bešume letelice koje se kreću u zatvorenim prostorima. Danas postoji sve veća potreba za letelicama sa različitim mogućnostima kako za civilne tako i za vojne potrebe. Takođe postoji značajan interes za razvoj novih dronova koji mogu autonomno leteti u različitim okruženjima i lokacijama, i mogu obaviti različite tehničko-tehnološke misije [30]. U prošloj deceniji, širok spektar primene dronova je doveo do pronalaska i pojave bespilotnih letelica različitih veličina i težine. Godina 2015. proglašena je [3], [8], [77], kao godina povećanja i rasprostranjenosti primene različitih tipova i modela dronova u svim oblastima ljudske delatnosti, posebno u poljoprivredi i šumarstvu (75% upotrebe). Dronovi se razlikuju po svojim konfiguracijama zbog zavisnosti od platforme i misije ili praktične svrhe upotrebe [1], [30]. Na primer, klasa I (Tab.1.) je podeljena u četiri kategorije (a, b, c, d).

Tabela 1. Predložena klasifikacija dronova, [4].

Table 1. The classification of Drones, [4].

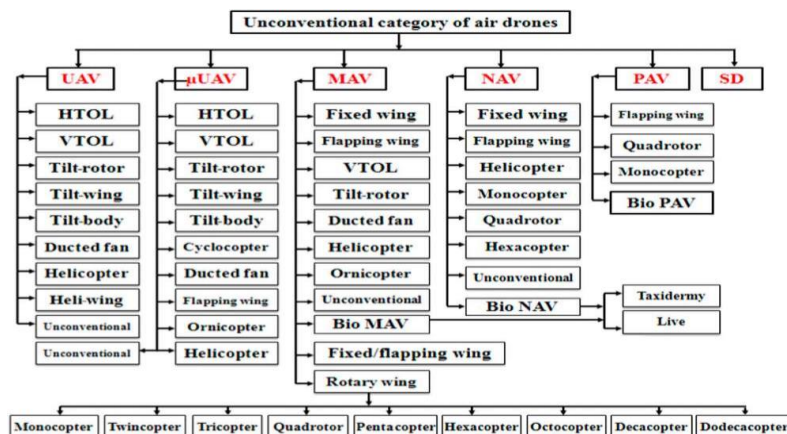
Klasa Class	Tip Type	Raspon težine Weight range (g, kg)
Class I (a)	Nano drones	$W < 200 \text{ g}$
Class I (b)	Micro drones	$200 \text{ g} < W < 2 \text{ kg}$
Class I (c)	Mini drones	$2 \text{ kg} < W < 20 \text{ kg}$
Class I (d)	Small drones	$20 \text{ kg} < W < 150 \text{ kg}$
Class II	Tactical drones	$150 \text{ kg} < W < 600 \text{ kg}$
Class III	Male/Hale/Strike drones	$W > 600 \text{ kg}$

1. NAJVAŽNIJI TIPOVI DRONOVA

Generalno, bespilotne letelice mogu biti kategorisane prema različitim performansama [5]. Osnovne osobine drona kao: sopstvena težina, raspon krila,

opterećenje krila, opseg, maksimalna visina leta, brzina, izdržljivost ili tipovi pogonskih motora i troškovi proizvodnje, su važni parametri dizajna koji razlikuju pojedine tipove bespilotnih letelica i pružaju korisne informacije za sisteme klasifikacije (Sl.1.) [5].

Na primer, UAV često primenjuju motore sa posebnim tipovima pogonskog goriva, i MAV-i koriste mikro električne motore sa posebnim tipovima Li-Ion baterija.



Slika 1. Klasifikacija vazdušnih dronova, [5].

Figure 1. The Classification of air drones, [5].

1.1. UAV tip drona

Glavni aspekti koji razlikuju UAV letelice od drugih tipova malih bespilotnih letelica (kao MAV ili NAV, Sl.4 i Sl.5) uključuju operativnu namenu letelice, specijalne materijale koji se koriste u njihovoj izradi, složenost i velike finansijske troškove sistema kontrole njihove upotrebe [7]. Različiti zahtevi o misiji drona i ulozi u operacijama primene, stvorili su razne vrste/kategorije i tipove UAV tipova drona sa krilima i različitim načinima poletanja/sletanja sa/na podloge. Kako je prikazano na slici 2, UAV dronovi mogu biti: HTOL (horizontalno poletanje/sletanje), VTOL (vertikalno poletanje/sletanje), hibridni model (tip: tilt-ving, tilt-rotor, tilt-bodi i ducted fan), heli-ving i drugi nekonvencionalni tipovi letelica.



Slika 2. Neki važniji tipovi UAV dronova: (a) HTOL, (b) VTOL, (c) tilt-rotor UAV, [8].

Figure 2. Some important UAV tipe of drones: (a) HTOL, (b) VTOL, (c) tilt-rotor UAV, [8].

1.2. μ UAVs tip drona

μ UAV (mikro UAV) ili mali UAV (SUAV) dron, je bespilotna letelica koja je po dimenzijama veća od mikro letelica tipa MAV, koje može nositi i lansirati jedan operater (vojnik). Kako je prikazano na slici 3, μ UAVs se mogu kategorizovati kao HTOL, VTOL, Hibrid model (nagibno krilo, nagibni rotor, tilt-telo i tip ventilator), helikopter, ornikopter (flapping wing), ciclocopter i drugi nekonvencionalni tipovi.

Tip HTOL, VTOL, Tilt-rotor, Tilt-ving, Tilt-bodi, tip ventilator, helikopter i nekonvencionalni μ UAVs slični su modelima UAV dronova, ali imaju manju veličinu (dimenzije) i težinu (kg) kao što je prikazano na slici 3.

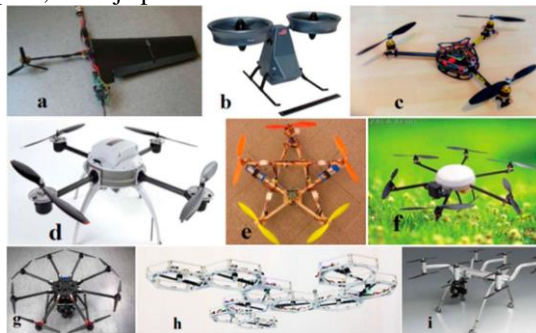


Slika 3. Neki važniji tipovi μ UAVs, (a) HTOL, (b) VTOL, (c) tilt-rotor, (d) tilt-wing, (h) ornithopter, (i) ornicopter, (j) cyclocopter, and (k) unconventional UAV, [8].

Figure 3. Some important μ UAV tipe of drones: (a) HTOL, (b) VTOL, (c) tilt-rotor, (d) tilt-wing, (h) ornithopter, (i) ornicopter, (j) cyclocopter, (k) unconventional UAV, [8].

1.3. MAV tip drona

MAV tip bespilotnih letelica su obično male letelce dužine do 100 cm i težine manje od 2 kg [73]. Ovi dronovi su grupisani u kategorije: fiksno krilo, krilo koje rotira, VTOL, rotaciono krilo, tilt-rotor, ventilirani ventilator, helikopter, ornicopter i nekonvencionalni tipovi, kako je prikazano na slici 4.



Slika 4. Neki važniji tipovi MAV dronova, (a) mono-copter, (b) twin-copter, (c) tri-copter, (d) quad-copter, (e) penta-copter, (f) hexa-copter, (g) octo-copter, (h) deca-copter, (i) dodeca-copter, [8].

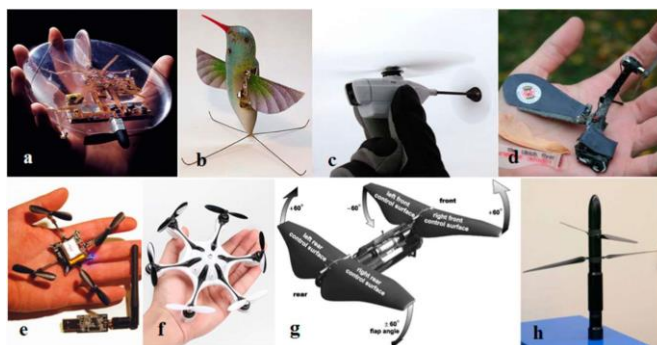
Figure 4. Some important MAV type of drones: (a) mono-copter, (b) twin-copter, (c) tri-copter, (d) quad-copter, (e) penta-copter, (f) hexa-copter, (g) octo-copter, (h) deca-copter, (i) dodeca-copter, [8].

Ovaj tip drona (Sl.4) može da ponese teret na postolju ispod ili iznad letelice kao što su: različiti tipovi vizuelnih, akustičnih, hemijskih i bioloških senzora [9].

1.4. NAV tip drona

Pored mikro-vazdušnih letelica, Agencija DARPA, USA [8, 26], ima još jedan program sa letelicama tipa (NAV) [18], [19] koji su definisane kao izuzetno male i lagane bespilotne letelice (Sl.5) sa najvećom dužinom krila do 15 cm [129] i težinom od 50 g [12].

Ovi tipovi bespilotnih letelica imaju opseg leta do 1000 m, a maksimalna visina leta je oko 100 m [12], [14]. Postoje različite konfiguracije za NAV tip adronova, kao što su fiksna krila, rotirajuća krila i flapping tip krila koja su prikazana na slici 5. Dron NAV konstrukcije koji se sastoji od jednog motora i rotora, je mono kopter. To je konstrukcija inspirisana analizom pada semena sa drveta javora [15], [11]. Po tome su dobili i konstrukcijska imena: dvojni kopteri, trikopteri, četvero-rotori ili kuad-kopteri, penta-kopteri, heksa-kopteri, octo-kopteri, deca-kopteri i dodeca-kopteri (twin-copters, tri-copters, quad-rotors or quad-copters, penta-copters, hexa-copters, octo-copters, deca-copters, and dodeca-copters [20], [21]). U navedenim konstrukcijama MAV tip dronova, kuad (4)-kopteri i heksa (6)-kopteri su najpoznatiji tipovi dronova u praktičnoj upotrebi [17].



Slika 5. Neki važniji NAV drona, (a)fixed wing , (b)flapping wing, (c) helicopter, (d) monocopter, (e) quadrotor, (f) hexacopter, (g- h) unconventional, [8,26].

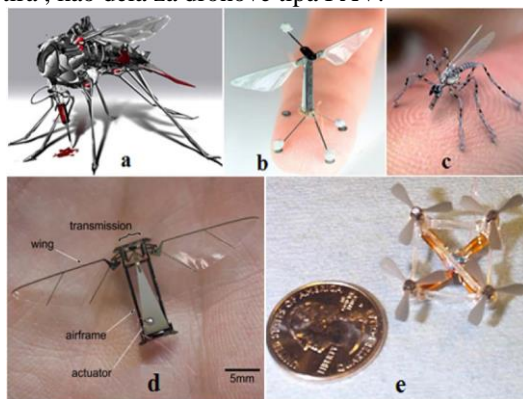
Figure 5. Some important NAV type of drones: dronova, (a)fixed wing ,(b) flapping wing, (c) helicopter, (d)monocopter, (e)quadrotor, (f) hexacopter, (g- h) uncon., [8,26].

1.5. PAV tip drona

U nekoliko poslednjih proteklih godina neki istraživači su pokušali da dizajniraju i izrađuju bespilotne letelice (Sl.6) veličine i oblika insekata [22-26]. Zato je definisana nova klasa dronova koja je prepoznata kao pico letelice ili pico vazdušna vozila (PAVs) [24]. Zbog svojih malih dimenzija i malih težina, postoje za sada, samo nekoliko vrsta PAV letelica. Kvadrotor i letelice sa mini krilcima su dizajni koji se često koriste kod PAV klase konstrukcija. Između pomenutih tipova, nedavno, PAV sa rotorom ima performanse sa manje prednosti nego konstrukcije sa rotirajućim krilima (kvadrotor), jer

oponašaju kretanje insekata sa krilima koji imaju neverovatne performanse leta, kao što su: lebdenje, nagla ubrzanja i veoma brzo okretanje [22]. Mnogi istraživači su radili na ovakvim konstrukcijama mikro bespilotnih letelica (Sl. 6).

Autori [24] bili su pioniri koji su radili na kontrolisanim mikrobotičkim letovima. Predložili su konceptualni dizajn za mikrodrone sa spoljnim delovima i elastičnim zglobovima kao kod insekata (Sl.6). Autor Dickinson i sar. [25] pokušao je da konstruiše mikrodrone veličine insekata sa rasponom krila od oko 25 mm i težinom oko 100 mg. Da bi istražili let leptira, Tanaka i sar. [22] razvili su malu i laganu konstrukciju drona sličnu leptiru koja ima težinu 40 mg, raspon krila 140 mm i frekvenciju pokreta krila od 10 Hz. Projekat "RoboBee" pokrenuli su Vood et al. [23], za konstrukciju i dizajniranje i proizvodnju krila leptira, kao dela za droneve tipa PAV.



Slika 6. Neki važniji tipovi PAV dronova: (a, b, c, d) flapping wing, i (e) quadrotor, [8].
Figure 6. Some important types PAV drones: (a, b, c, d) flapping wing, (e) quadrotor, [8].

2. TIPOVI DRONOVA I PRIMENA U PRAKSI

Primene dron letelica mogu se kategorisati na različite načine, ali pre svega zasnovane po tipu misije (vojnih / civilnih), tipu letaćkih zona u prostoru (spoljašnje / unutrašnje) i tipu okruženja (pod vodom / na vodi / zemlji / vazduhu / ograničenom prostoru), [27], [28].



Slika 7. Primena drona u različitim uslovima u poljoprivredi, [30].
Figure 7. Application of drone in different conditions in agriculture, [30].

Kako prikazuje slika 7, bespilotne letelice imaju različite primene u poljoprivrednom okruženju [42]. Dronovi mogu imati više od 200 različitih aplikacija u budućnosti, pre svega u funkciji tipa [27], [28]. Na primer, prema literaturi, dronovi mogu da se koriste za misije pretraživanja i spašavanja, zaštitu životne sredine, isporuku pošte i obavljanje misija u okeanima ili čak drugim planetama, i druge razne aplikacije [31]. Ovi dronovi mogu pružiti brzi pregled ciljnog područja koje se nadgleda ili istražuje, bez ikakve opasnosti.

Dronovi opremljeni infracrvenim kamerama mogu dati slike u objekata mraku [32]. Na primer, zbog njihovih smanjenih dimenzija, mikro bespilotne letjelice se mogu koristiti za izviđanje unutar zatvorenih objekata.

Kao što je navedeno [30], [36], dronovi malih dimenzija su trenutno jedini način da se pregledaju unutrašnjosti posebnih objekata na primer za slučaj elementarnih nepogoda ili u ratnim uslovima neprijateljske teritorije. Oni mogu nositi specifične senzore i kamere za lociranje bioloških, nuklearnih, hemijskih ili drugih pretnji [34]. Interesantne aplikacije drona su:

2.1. Pretraživanje terena i spasilačke misije

Jedna od važnih primena bespilotnih letilica je njihova upotreba u misijama za pretraživanje i spasavanje [36-38]. U operacijama pretraživanja terena posle nesreća i spašavanja, svaka sekunda je veoma važna. Da bi što efikasnije funkcionisali, važno je da se postigne brz pregled terena i utvrdi realna situacija i potrebna akcija na terenu. U spasilačkim misijama, avionima i helikopterima sa posadama potrebno vreme da budu potpuno spremni za obavljanje misije. U isto vreme bespilotne letelice mogu se odmah aktivirati bez ikakvog gubitka vremena krenuti u akciju koja je potrebna zbog izviđanja [37]. Zbog važne uloge bespilotnih letelica u misijama za pretraživanje i spasavanje, upotreba dronova je privukla pažnju mnogih istraživača. U tu svrhu, nekoliko tipova bespilotnih letelica je posebno projektovano i proizvedeno za obavljanje ove vrste misija namenjenih dronovima [38-41].

2.2. Zaštita životne sredine

Bespilotne letelice ili dronove mnogi Autori smatraju vitalnim delom različitih vojnih misija [42]. Ali ipak, oni se sve više koriste za obavljanje civilnih misija i ekoloških akcija. Prvenstvenu ulogu imaju u misiji stalnog nadgledanja (upravljanja) velikih površina nacionalnih parkova, poljoprivrednih zemljištima, šumskih regija, praćenja kretanja divljih životinja u različitim oblastima. Posebnu ulogu dronovi imaju u registrovanju-posmatranju efekata globalnih ili lokalnih klimatskih promena i praćenje biodiverziteta različitih ekosistema od kišnih šuma, pustinja predela do okeana [42]. Mnogi tipovi dronova mogu se koristiti i za istraživanje prirodnih nepogoda, uključujući šumske požare, lavine na planinama i slične situacije [43], [44]. Na slici 7., prikazani su različiti tipovi dronova u uslovima poljoprivrede [42] kada imaju više funkcionalne uloge u praćenju složenih radnih procesa [30].

3. DRONOVI U POLJOPRIVREDI: PREGLED PRIMENE

U poljoprivredi [30], mogu se pojaviti korisnici drona kao:

- Farmeri, koji imaju potrebu za misijom drona u prikupljanju informacija na farmi,
- Poljoprivredni servisi koji prikupljaju inoformacije za više korisnika – farmera.

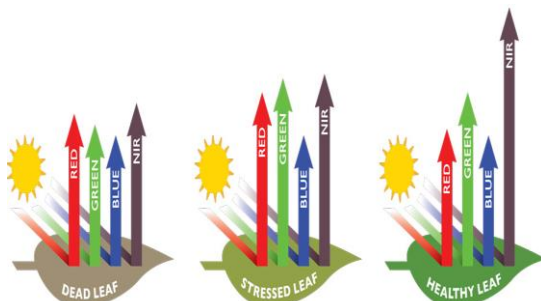
Mnogi Autori i istraživači podržavaju i priželjkuju masovnu upotrebu dron letelica u poljoprivredi smatrajući da bi time i precizna poljoprivreda [8], [46], [47] dobila nov kvalitet. Istovremeno drugi oprezniji Autori, bojeći se da ogroman broj podataka dobijen uz pomoć dronova predstavlja problem, kako u njihovoj adekvatnoj obradi, tako i praktičnoj primeni.

Istovremeno i pravni aspekt primene drona u poljoprivredi je i dalje nejasan jer navedeni i propisani niz ograničenja (moguće zloupotrebe, na primer: prava na privatnost, mogućnosti vojne i industrijske špijunaže, terorizma, ometanja vazdušnog saobraja, itd.). Mini letelice, dronovi (na primer: Sl.4., Sl.5., Sl.6) mogu se koristiti komercijalno u oblasti: elektroprivrede, vremenskoj prognozi, saobraćajnog i pomorskog nadzora, transporta, traganja i spasavanja, istraživanjima nalazišta uglja, nafte ili gasa, poljoprivredi i slično.

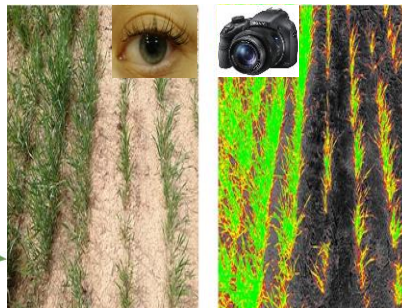
Pošto se u primarnoj poljoprivrednoj proizvodnji koriste velike površine zemljišta [8], najviše koristi od dronova, odnosno daljinskog istraživanja terena (praćenja/izviđanja), svakako ima poljoprivreda, jer mini letelice omogućuju relativno lako pravovremeno praćenje stanja i napredovanja useva, utvrđivanje potrebe za navodnjavanjem, prihranom, zaštitom od biljnih bolesti i štetočina, i drugih različitih agrotehničkih mera, ali i utvrđivanje potrebe za uređenjem zemljišta, njegovim popravkama, uključujući i potrebne meliorativne zahvate.

Dron sa GPS i foto opremom može brzo i efikasno obaviti snimanje i kartiranje proizvodnog područja farme, precizno i više puta prikazati stanje površine sa štetočinama, pojavu biljnih bolesti, nedostatak vlage u zemljištu i slične operacije na površini koju zauzima farma.

I to na tačnim lokacijama (geografska širina i dužina) i odmah omogućiti pravovremenu i brzu reakciju osoblja sa farme, što može drastično racionalizovati i smanjiti troškove proizvodnje, uključujući i broj potrebnih radnika. Za redovno praćenje/izviđanje stanja useva u poljoprivredi koriste se odgovarajući tipovi mini letelica-agrodronovi (Sl.7.) uz čiju pomoć farmer ima širok i precizan pogled „sa neba“. Ako kod pregleda useva uoči problem, može se fotografisati i utvrditi njegova tačna pozicija ponovnim letom drona iznad određenog područja. Naredni korak je kartiranje, odnosno kreiranje precizne digitalne slike proizvodne površine koja se uobičajeno vizuelizuje GIS alatima (GIS -geografski informacioni sistem sa tzv. pametnim kartama). Kad se snimanje obavlja sa više tipova kamera i različitim talasnim dužinama sunčevog spektra, obradom i analizom fotografija može se relativno pouzdano proceniti stanje poljoprivrednih kultura (Sl.8. i Sl.9), izračunavanjem NDVI (Normalni Indeks Vegetacije).



Slika.8. Princip spektralne analize lista biljke
Figure 8. Princip of spektral analize of plant lief



Slika.9. Pogled oka i kamere za
usev i zemljište, [42]

Slika.9. The view of the camera and
eye for crop and land, [42]

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) prikazuje stvarno, ljudskom oku nevidljivo (Sl.8 i Sl.9), stanje snimane površine (Sl.9). NDVI je baziran na skali boja gde se obično koristi zelena boja (zdrav usev) za visoke vrednosti NDVI i crvena boja (pojava neke bolesti) koja predstavlja niske niske vrednosti (Sl.8).

Analiza fotografije (Sl.8) sa foto opremom koju nosi dron prilikom leta preko parcela sa usevom, na primer daje situaciju sa ocenama: dobro=izrazito zelena boja pšenice; oštećen list pšenice sušom=crvena boja ivice lista, i stanje zemljišta u stanju smanjene vlažnosti kao crno/braon boju (desna fotografija Sl.8).

NDVI (Normal Difference Vegetation Index) ima vrednost razlike između intenziteta reflektovane talasne dužine svetlosti sa dve različite frekvencije, (VIS=vidljivi deo spektra, vrednosti=400-700 nm; NIR=infracrveni deo spektra, vrednosti=700-1300 nm), prema analitičkoj relaciji:

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

Izvestan broj istraživačkih radova u literaturi [42-45] smatra diskutabilnom pouzdanost i tačnost NDVI parametra, jer je to nelinearan indeks, na koga utiču i dodatni faktori: boja zemljišta i lišća, sadržaj vode u zemljištu i biljkama, atmosfersko zračenje, količina biomase, i drugi faktori. Zato je u primeni korekcija/kalibracija NDVI sa više različitih faktora kao na primer: SAVI = *Soil Adjusted Vegetation Index*, EVI = *Enhanced Vegetation Index* i drugi, kada je moguće analizirati znatno više različitih vegetacijsko-biofizičkih parametara koristeći podatke daljinskih snimanja kamarai optičke opreme koje se nalaze na nekoj od adekvatnih mini letelica-drona, jer aktivnost zelenih biljaka/poljoprivrednih kultura uključuje indeks površine lista (LAI), zelenu biomasu, apsorbovanu svetlosnu energiju, CWSI (*Crop Water Stress Index* ili indeks vodnog stresa biljaka), CCCI (*Canopy Chlorophyll Content Index* ili koncentraciju hlorofila u biljnom pokrivaču, koji ukazuje i na ishranjenost biljaka kiseonikom

Danas je praksa da se NDVI indeks koriguje, sa više faktora koje znatno podižu tačnost i pouzdanost NDVI, pa je korekcionni faktor NNI (*Nutrition Nitrogen Index*) koji zahteva poznavanje stvarne i kritične koncentracije kiseonika u biljkama, ili RI indeks (*Response Index*), u kome je $NDVI_{rs} = NDVI$ kalibraciona traka kulture, koja je prihranjena dozom prema preporuci osnovne hemijske analize zemljišta; $NDVI_f = NDVI$

useva). Dronovi zato imaju različitu tehničku i optičku opremu, uključujući HD kamere visoke rezolucije, više tipova infracrvenih i termalnih senzora, elektromagnetne senzore, i neke tipove radara. Za utvrđivanje pojedinih osobina nekih nadgledanih površina koriste se različiti EMI senzori (elektromagnetna indukcija, spektralna analiza u vidljivom i infracrvenom delu spektra), kao i druge vrste senzora koji prikazuju stanje vegetacije (SI.8.) kao precizni foto snimak.

Praćenje stanja poljoprivrednih kultura snimcima iz satelita ili aviona, kao i pregled obilaskom terena vozilima ili pešice, do sada, bili su osnovni načini pregleda/inspekcije. Ipak ove metode bile su često nepotpune i vremenski ograničene (oblačno i/ili kišno vreme, magla, vlažno tlo i slično) pa prikupljanje navedenih podataka, njihova obrada i analiza može potrajati dugo vremena. Rezultat je zakasnela intervencija, pa su neke štete ipak neizbežne, zbog nezapažene pojave bolesti ili neishranjenosti useva.

Pored ovih problema obavezno se javljaju i povećani troškovi prihranjivanja useva i zaštite i time, smanjen prinos i pad profita.

Upoređenje tehnike izviđanja mini letelicama-dronovima, sa drugim metodama, donosi zaključak da ova tehnika sa mini letelicama donosi daleko jeftinije, ažurnije i tačnije podatke o stanju useva pa su za praćenje useva na prosečnim površinama 50 do 500 ha dronovi trenutno prvi i najbolji izbor.

Primena drona [30], je različita u oblasti praćenja (analize) stanja useva:

- Rast, razvitak i zdravlje (kondicija) useva (fenofaze i etape razvitka),
- Potrebe za prihranom useva (vreme, mesto i tačna količina, prostorni raspored),
- Pojave bolesti, biljnih štetočina i korova (lokacija, koncentracija, pravci prostiranja)
- Utvrđivanje pojave mikrodepresija posle obrade i pripreme zemljišta, pojave zadržavanje vode na površini zemljišta, stanje drenaže, potrebe za navodnjavanjem,
- Gustina, sklop, visina, procena biomase i prinosa poljoprivrednih kultura,
- Utvrđivanje mogućeg termina žetve, na osnovu stanja useva prema fazi sazrevanja.

Dronovi namenjeni za komercijalnu upotrebu u poljoprivredi najčešće imaju komplet PC programa (na primer: platforme AgOS, AgWorks i MyAgCentral) za analizu prikupljenih podataka i automatsko planiranje leta drona u obilasku terena (SI.10.).

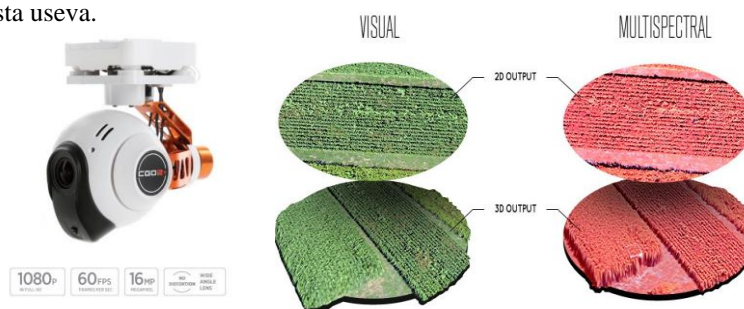


Slika 10. Plan leta drona u obilasku polja, [49], [50].

Figure.10. The drone flight plan for tour a fields, [49], [50].

Standardna tehnička oprema drona obuhvata: GPS uređaje, digitalne kamere (fotoaparati) sa multispektralnim senzorima. Neki skuplji modeli ovih mini letelica, imaju infracrvene (toplotne), hiperspektralne (za nevidljivo zračenje) senzore, optički radar (LIDAR = *Light Detecting and Ranging*), 3D radar (SAR = *Synthetic Aperture Radars*) i slično.

U zavisnosti od preciznosti video opreme (Sl.11) koju dron ima u obilasku poljoprivrednih površina, fotografije koje se dobijaju imaju različit kvalitet koji je vrlo značajan u analizi dobijenih podataka, kao na primer visina useva u nekim fazama porasta useva.



Slika 11. Snimci kamere: tereni sa različitim usevima, [49, 50].

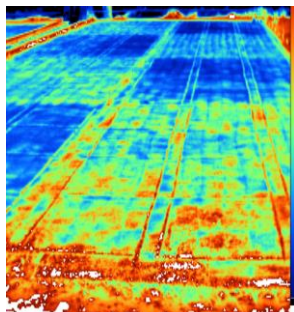
Figure 11. The camera shots and types of terrain and different crops, [49, 50].

Danas video oprema i senzori [8], imaju cene od 200 USD i preko 50.000 USD u zavisnosti od preciznosti i broja/preciznosti snimaka terena pod usevom u određenoj vremenskoj jedinici. Najmanja rezolucija fotografija (koje se kasnije analiziraju) je 12 Mpix. Ovu najmanju preciznost postižu kamere GoPro Hero 3 i 4 Hero. Postoje i preciznije kamere sa 20 Mpix:

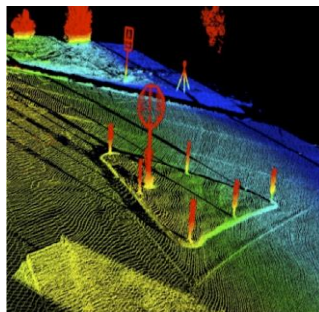
- *Sony QX1*: mala težina, realni snimci (tip VIS), u formatu RAW ili JPEG.
- *Canon EOS Rebel SL1 DSLR Camera Kit*: samo realni snimci (tip VIS).
- *Zenmuse X3*: koristi sistem DJI, realni (vidljivi) snimci terena/objekata (tip VIS).
- *GoPro Hero 3 and Hero 4*: kompaktna, vodootporna, samo realni snimci (tip VIS),
- *MaxMax (Nikon)*, ima opciju snimaka tipa NIR i VIS, cene do 5,000 USD.

U toku samo jednog leta drona, termalne kamere mogu napraviti snimke tipa: VIS (vidljivi deo spektra), ili NIR (nevidljivi deo spektra svetlosti) i prikazati promene temperature biljaka i površine zemljišta koje ima oscilacije temperature u funkciji stanja vlažnosti zemljišta.

Na osnovu ovog, dobija se snimak-fotografija infra-red termalne kamere (IRT kamera) koja prikazuje prisustvo (plava boja, Sl.12.) ili odsustvo vode (suša, crvena boja, Sl.12) zbog efekata hlađenja zemljišta u toku sezone [49, 50].



Slika 12. Foto IRT kamere

Figure 12. Photo of IRT camera

Slika 13. Fotografija tipa LIDAR 3D površine na Zemlji

Figure 13. Photo type LIDAR, 3D surface of Land




Optički radar (LIDAR=*Light Detecting and Ranging*), pokazuje snimak stanja površine zemljišta (Sl.13), kao 3D model, gde se jasno i precizno vidi raspored, oblici i dimenzije objekata. Preciznost je veoma velika do ± 10 cm , ali ova oprema je najskuplja (50.000 \$ do 250.000 \$), koju dron može imati, [82].

3.1. Primeri korišćenja drona u poljoprivrednim uslovima

Više tipova UAV letelica – dronova su dostupni su na tržištu i mogu se koristiti za poljoprivredne namene, prvenstveno u ispitivanju stanja useva, zemljišta, i voda [42-44]. U odnosu na poznate karakteristike letelica u tabeli 2., prikazani su dronovi i neka oprema koji imaju karakteristike koji odgovaraju za istraživanja koja imaju uslovi u poljoprivredi .

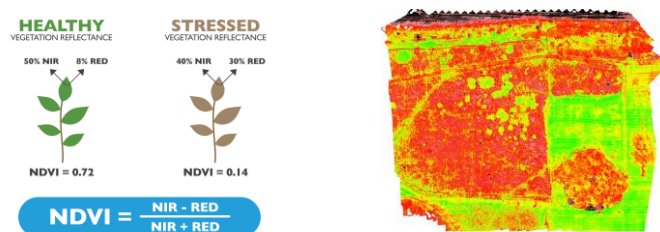
Tabela 2. Tipovi dronova za poljoprivredne uslove, [30], [42].

Table 2. Types of drones in Agriculture condition, [30], [42].

Tip Drona Tye of Drone		Osnovne karakteristike drona Basic properties of Drones
μ UAVs Quadcopter Drone Omega		Vreme leta (max): 100 min. Površina: 80 ha Horizontalna brzina: 30 -100 kmh ⁻¹ Težina : 2500 gr
μ UAVs Fixed Wings EBee SQ Livona		Vreme leta (max): 55 min. Površina: 200 ha Horizontalna brzina:: 40-110 kmh ⁻¹ Težina: 1100 gr
MAVs Drones Hexacopter DJI SW S900		Flight time: 60 min. Površina: 60 ha Horizontalna brzina: 25 - 120 kmh ⁻¹ Težina: 3300 gr

Optička oprema i fotoaparati su ključni elemenat za kvalitet i preciznost snimljenih fotografija-karata koje se dobijaju preletom dronova preko nekog terena. Generalno, senzori optičkih instrumenata niskih rezolucija koji snimaju u boji sa crveno-zeleno-plavo nijansom označene sa RGB i blizu infracrvenog opsega NIR, pa takve fotografije nisu dobre za poljoprivredne kulture. Kamere visoke rezolucije postavljene na dronove za snimanje situacije u poljoprivredi, imaju specijalizovane filtere i zato su mnogo preciznije [8, 50]. Primeri specijalizovanih kamera za poljoprivredne uslove su: Micasense Red-Edge1 i Parrot Sekuoia2. Ove kamere su veoma lagane i posebno dizajnirane, malih dimenzija za postavljanje na UAV letelice. U upotrebi i korištenju svih tipova UAV letelica je veoma važna preciznost određivanja lokacije i pozicije letelice na osnovu fotografija (karakteristika cm/pix) snimljenih kamerom montiranim na UAV. Danas, tačnost GPS uređaja može biti veoma visok +/- 5 cm do 15 cm.

Podatak koji se može dobiti korišćenjem kamera visoke rezolucije postavljenih na UAV je indeks Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Ovaj indeks ukazuje na ukupno zdravlje biljaka (Sl.14). Ako se NDVI vrednosti nalaze bliske 1.0, očekuje se da vegetacija bude zdrava. Ukoliko je NDVI vrednost bliska broju 0.0 (Sl. 14), analiza fotografija prikazuje vegetaciju koja pokazuje znake oboljenja.



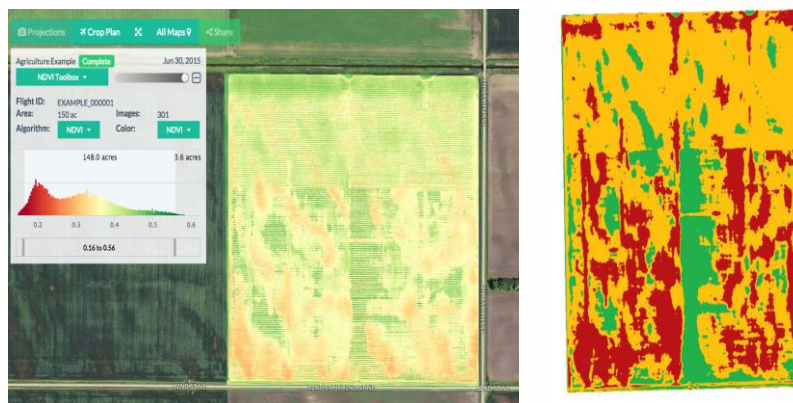
Slika 14. Interpretacija vrednosti i značenja NDVI indexa [38, 50].

Figure 14. Interpretation of values and meanings of NDVI index [38, 50].

3.2. Monitoring zdravstvenih uslova biljaka - Analiza korišćenjem podataka NDVI (NDVI = Indeks normirane razlike vegetacije)

Specijalne kamere postavljene na UAV letelice mogu snimati sa različitim vrednostima talasnih dužina svetlosti koja daje crveno, zeleno i plavo svetlo (rgb). Primenom algoritma za obradu VARI-Visible Atmosphericall Resistant Index, može se dobiti normalan ili prosečano precizan podatak za procenu zdravlja useva na polju (Sl.14). HD kamere većih preciznosti snimaju fotografije bliže infracrvenom delu spektra svetlosti i mogu primenom poboljšanih algoritma obrade fotografije dobiti nove vrednosti indexa sa povećanom preciznosti snimanja, koji imaju oznake: ENDVI, GNDVI, SAVI, OSAVI, RDVI, [51], [52].

ENDVI - Enhanced Normalized Different Index of Vegetation, upoređuje deo zelenog spektra svetlosti, crvenog i plavog, kako bi se dobio tačniji rezultat. Ovakav način analize fotografija (Sl. 15) daje pokazatelje dobro-loše zdravlje useva i može se koristiti za procenu prisustva drugih biljaka u osnovnom usevu, npr. korova [52].

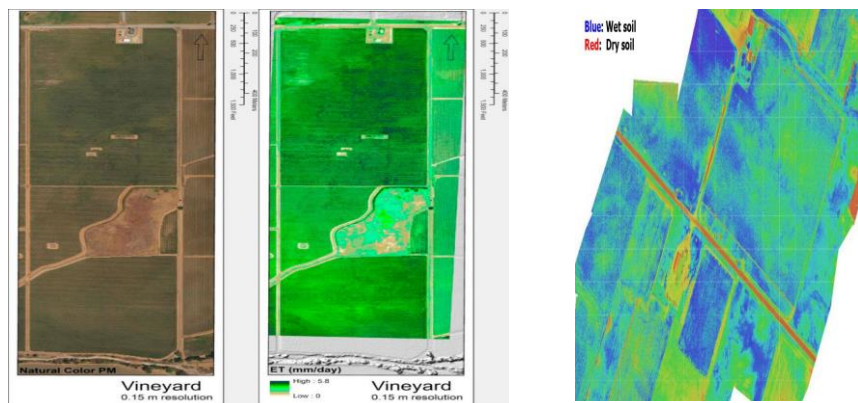


Slika 15. Analiza NDVI na 150 acr: 27% je crvena boja (loše zdravlje useva), 58% je žuta boja (prosečno zdravlje useva), 15% zelena boja (dobro stanje), [51].

Figure 15. Analysis of NDVI at 150 acr: 27% is red (bad health), 58% is yellow (average health), 15% is green (good health), [51].

3.3. Monitoring evapotranspiracije i navodnjavanja

Iz perspektive upravljanja navodnjavanjem zemljišta, neophodne su dve glavne komponente za procenu potreba za navodnjavanjem: evapotranspiracija (ET) i trenutna vlaga u zemljištu (SM). ET je količina vode koju koristi usev zasnovana na vodi dostupnoj u zoni korijena, tipu biljke i vremenskim i sezonskim uslovima [51].



Slika 16. Primer procene evapotranspiracije, ET u cm/ dan ili mm/ dan (levo), i vlažno ili suvo zemljište (desno). Rezolucija: 4 inča / pix, površina 300 acr; [51].
 Figure 16. An example of evapotranspiration estimation, ET in cm per day or mm per day (left), and wet or dry land (right). Resolution: 4 inch /pix, 300 acr; [51].

Trenutna vlaga (SM) je količina vode koja se zadržava u zoni korena useva i varira prostorno u toj zoni u zavisnosti od, količine organske materije i dubine [51]. Opisane komponente omogućavaju procenu potreba za navodnjavanjem vode kroz proračun vodnog bilansa [51, 54]. Kao što je navedeno u dostupnim ET modelima u literaturi, [19-25] procenjuje ET koristeći UAV tehnologiju, sa odabranim NIR spektralnim filterima sa snimljenih fotografija, [55, 56]. Na slici 16 (levo) prikazana je mapa procene ET [51], za površinu pod vinogradom. Ova ET mapa je urađena sa programom AgieAir i pomoću snimaka sa UAV drona koji je opremljen sa specijalnim optičkim i termičkim kamerama visoke rezolucije od 0.15m/ pix [57]. Dobijene informacije o ET mogu se dalje upotrebiti za određivanje zona (Sl. 16 desno) predviđenih za navodnjavanje koje primenjena tehnologija za navodnjavanje (npr tehnički sistem kap-po-kap) može podržati [55, 56].

3.4. Monitoring prihrane biljaka

Glavni ekonomski input parametar za svaku poljoprivrednu sezonu je primena nekih tipova đubriva (npr. N, P, K) ili mikroelemenata (npr. S, Mg, Zn). Đubrivo na terenu se aplicira na različite tehničke načine (razni tipovi prskalica, preko sistema za navodnjavanje, avionima i sl.). Određeni način korišćenja tehničkih sredstava za prihranjivanje useva, zavisi pre svega od veličine površine pod tim usevima.

Kod primene ovih specifičnih mašina i opreme mora se voditi računa o mnogobrojnim faktorima njihove primene : upotrebene količine đubriva, uslovima spoljašnje sredine (brzine strujanja vazduha, temperatura, vlažnost i slično) [60]. Od navedenih uslova zavisi preciznost nanete količine đubriva, a time i novi veoma važni mnogobrojni faktori uticaja na: okolinu, zemljište, vodu, usev-biljke, zdravlje ljudi i životinja i drugi .

U monitoringu teritorije sa određenim tipovima UAV, i kasnija analiza dobijenih fotografija upotrebljenih u inspekciji i nadgledanju površina koje se tretiraju različitim đubrivima, je veoma važna. Istraživanja [61] ukazuju na to da je moguće izvršiti monitoring prihranjivanja useva sa letelicama UAV koje su opremljene sa odgovarajućim senzorima i termičkim kamerama (na prime Red Edge ili hiperspektralne kamere) Spektralna analiza (sa programskim alatima) fotografija koji su dobijene sa snimaka kamera na UAV letelicama, danas predstavljaju dragocenu alatku na primer, za nadgledanje pravilno dozirane ishrane biljaka, smanjenje primene azota (N) na stvarne potrebe, čime ovakvi postupci imaju dobre ekonomske i ekološke prednosti (sl.17). Istraživanja [81], pokazuju upoređenje podataka spektralne analize (Sl.17 desno) fotografije kamera sa UAV površine parcele i varijacije primene N u količini od 0 do 250 kg ha. NDVI podaci dobijeni sa kamera UAV, imaju vrednosti u rasponu od 0,83 do 0,97 što pokazuje varijabilnost promene sadržaja N na nekim delovima pacela (crvena boja: nizak sadržaj N ili zelena boja optimalan sadržaj N) . Ova metoda je naročito pogodna za primenu određenih tačnih i potrebnih količina đubriva na velikim područjima kao što su tereni za golf ili velika poljoprivredna gazdinstva, kada se podaci dobijeni od opreme sa UAV letelica koriste za optimiziranje ove agrotehničke operacije [82].



Slika 17. Procene sadržaja azota (N) na parcelama : ovas (levo) i travu golf terena (desno) (sadržaj N je u mg/100mg DM, rezolucija: 6 inch/pixel) , [51], [82].

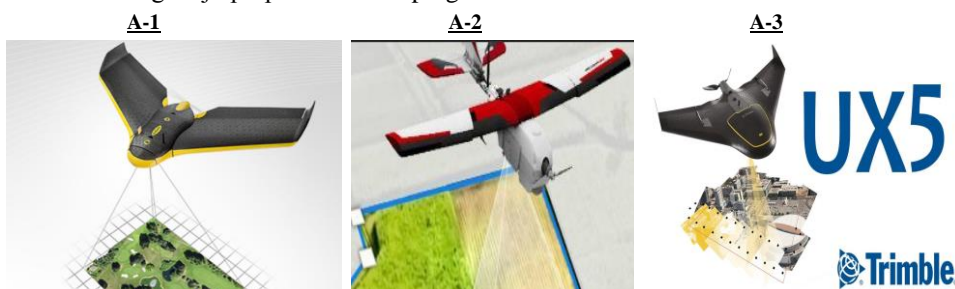
Figure 17. Estimates of Nitrogen content (N) on fields: oats (left) and grassland (right) (content N is in mg per 100mg DM, resolution: 6 inch /pixel), [51], [82].

4. KOJI DRON NABAVITI ZA POTREBE POLJOPRIVREDE U SRBIJI ?

Osovine osobine drona kao mini letelice, omogućuju da se generalno za potrebe poljoprivrede odaberu oni koji su opremljeni odgovarajućim programima (software) i

preciznom optičkom opremom (hardware). Prema osobinama drona [3], [8], [30], [80], mogu biti upotrebljeni poljoprivredni modeli drona sa krilima :

1. SenseFly eBee (SI.18.A-1): veoma popularan model mini letelice sa W/Ag servisima sa upotrebom u sistemu dron-traktor operacija na njivi sa usevima.
2. PrecisionHawk Lancaster (SI.18.A-2): model mini letelice sa krilima i rešenjima programa za konstantno praćenje i optimizaciju rada mašina u poljoprivredi.
3. Trimble (SI.18.A-3): model drona UX5, namenjen poljoprivredi i šumarstvu. Opremljen je kompletnom i veoma skupom foto opremom i programima koji omogućuju potpuni vizuelni pregled terena sa kulturama.



Slika 18. Osnovni modeli drona sa krilima za poljoprivredne uslove, [8], [3].

Figure 18. Basic models drone with wings for agriculture conditions [8], [3].

A) Poljoprivredni modeli tipa Multi-Rotor Ag Drones:

1. AGCO Solo (SI.19.B-1): projektovan na osnovnom modelu 3DR Solo quadcopter, ima komplet sa RGB za kolor fotografije terena i infrared kamere za monitoring stanja biljaka (na primer uslovi suše). Komplet sadrži i Agribotix program za obradu fotografija i formiranje mapa zone nadgledanja useva u poljoprivredi.
2. AiBot X6 (SI.19.B-2): Namenjen za zadatke u oblasti industrijske inspekcije, građevinarstva, bezbednosti objekata i specijalno za poljoprivredu i šumarstvo. Komplet opreme sadrži program za planiranje letova AiProFlight.
3. DJI multi-rotors (SI.19.B-3): Model Phantom-4 ima široku primenu u saobraćaju (avio saobraćaj), industriji, poljoprivredi i šumarstvu. U opremi poseduje novu generaciju GPS autopilot opreme i HD kameru za snimanje useva (ili šuma).



Slika 19. Osnovni modeli drona sa rotorima za uslove u poljoprivredi, [8], [9].

Figure 19. Basic models rotor drone models for agriculture condition, [8], [9].

4.1. Primena drona, površinski kop R.B. Kolubara

Kompanija VekomGeo d.o.o, Beograd (tehnička saradnja Institut za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivredni fakultet, Beograd) je u toku 2016. godine na površinskom kopu RB Kolubara, izvršila više snimanja terena zemljišta površinskog kopa "Tamnava-Zapad" zbog mogućnosti primene najsavremenije tehnologije za prikupljanje podatka na terenu i njihovog korišćenja u praksi [30], [82].

U toku snimanja upotrebljena je bespilotna letelica, tipa heksakopter Aibot X6 V2 (Sl.19 B-2) , sa dve oblasti primene:

1. Snimanje dela kopa R.B.Kolubara-Tamnava Zapad koji je u potpunosti bio poplavljen 2014. godine, zbog izrade geodetske podloge i dobijanja nultog stanja na delu kopa nakon isušivanja. Podaci snimanja: površina 60 ha, vreme snimanja 240 minuta, preciznost 2.5 cm. Za aerofotogrametrijsko snimanje terena korišćena je kamera NikonCoolpix A. Dobijeni rezultat: 3D oblak tačaka terena, detaljan ortofoto i digitalni model terena za 60 ha

2. Praćenje dinamike iskopa (zapremina iskopanog materijala) aktivnog rotornog bagera (Glodar-1). Izvršeno snimanje iskopa u dve etaže.

Realizacija Projekta je izvršena u tri faze:

- A. Planiranje leta Aibot X6 V2 za zadatu lokaciju
- B. Aerofotogrametrijsko snimanje
- C. Obrada podataka

- A) **Planiranje leta Aibot X6 V2** , kada je upotrebljen softver AgPro Flight. Prilikom kreiranja plana leta kada treba da se ispune zahtevi neophodni za obezbeđivanje potrebnog kvaliteta izlaznih rezultata, sa pokrivanjem kompletnog zahtevanog područja (60 ha). Parametri plana leta Aibot X6 V2 (Sl.19 B-2) , za automatsko snimanje bili su : • Veličina piksela do 2.5cm • Poprečni preklap između linija snimanja – 60% • Podužni preklap između snimaka – 80% • Visina leta ~100m • Brzina leta 40 km/h.
- B) **Aerofotogrametrijsko snimanje terena** celog kopa površinskog kopa "Tamnava Zapad" je izvršeno automatizovano. Aibot X6 V2, nakon poletanja (brzina 8m/s) kretao se po unapred definisanom planu leta (Sl.14), dok je za projekat praćenja dinamike iskopa letelica navođena manuelno uz pomoć video signala sa kamere na letelici. Razlog za to je bila znatno niža visina leta i blizina roto bagera koji ima veliku visinu.

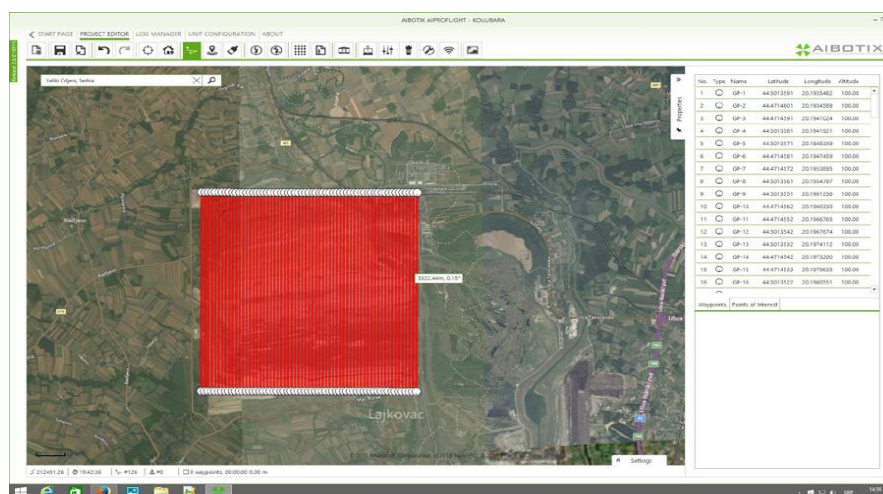
Tokom leta Aibot X6 V2, instalirana kamera NikonCoolpix A automatski obavlja fotografisanje terena i objekata iz vazduha u zadatom intervalu, obezbeđujući pri tome da su svi snimci orijentisani vertikalno sa potrebnim preklapanjem između snimaka. Snimanje kosina, zbog potrebe praćenja dinamike iskopa ugao kamere je menjan zbog dobijanja što kvalitetnijih rezultata. Za snimanje kompletnog područja bilo je potrebno više letova i snimljena je površina od približno 60 ha a samo snimanje trajalo je približno 240 min. Pre početka snimanja izvršeno je postavljanje specijalnih markera za georeferenciranje rezultata snimanja u lokalni koordinatni sistem.

C) **Obrada rezultata.** Posle završenog snimanja sa Nikon Coolpix A kamerom, obrada prikupljenih snimaka terena i situacija sa programom Agisoft PhotoScan.

Rezultat ove obrade podataka su : • 3D oblak tačaka • DMT • Ortofoto snimci terena

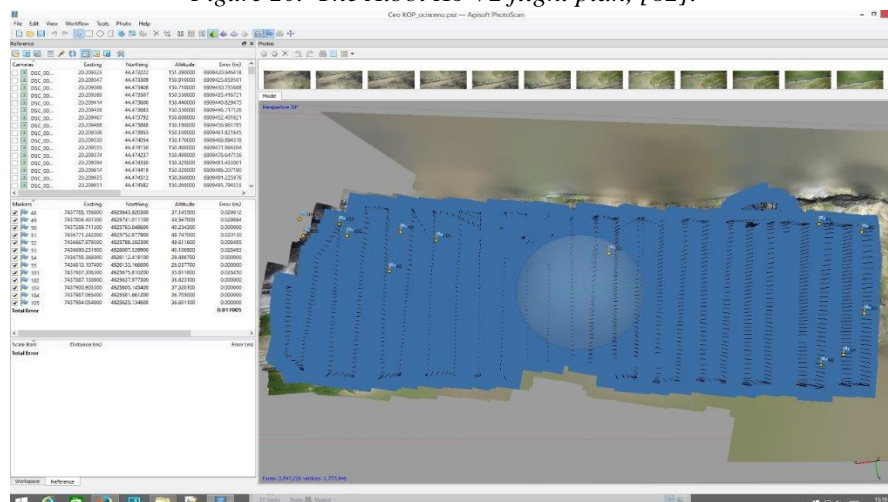
Iz ovih rezultata daljom obradom dobijaju se :

- Digitalni geodetski plan za deo kopa koji je bio poplavljen, i
- Ukupna količina iskopa zemljišta u periodu između dva snimanja dobijena na osnovu dva digitalna modela terena iz svake etaže iskopa.



Slika 20. Plan leta drona Aibot X6 V2, [82].

Figure 20. The Aibot X6 V2 flight plan, [82].



Slika 21. Realizovan plan leta drona Aibot X6 V2, [82].

Figure 21. Realized flight plan of Aibot X6 V2 drone, [82].

Na osnovu ovog projekta i istraživanja na RB Kolubara, upotreba bespilotnih letelica tipa Aibot X6 V2 u velikoj meri može doprineti i unaprediti merenja na kopovima i površinama zemljišta, zato što obezbeđuje:

- Pristup mestima kojima standardna oprema ne može bezbedno prići
- Jednostavno organizovanje i realizaciju snimanja
- Veliku uštedu u vremenu i angažovanju ljudstva na terenu
- Veću bezbednost – učesnici procesa se ne izlaže različitim opasnostima
- Visoka tačnost i detaljnost rezultata snimanja

4.2. Primena drona na poljoprivrednim površinama, Napredak a.d., Stara Pazova

Livona d.o.o., Novi Beograd (i Institut za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivredni fakultet, Beograd, u okviru tehničke saradnje), je 2017. godine, je izvršila više snimanja parcela i situacija useva pšenice u Napredak a.d., Stara Pazova [83]. Za ova simanja postoje razlozi upotrebe drona tipa eBee SG.

- **Preciznost**
Precizni kalibrisani multispektralni snimci omogućuju pouzdano sagledavanje stanja useva, lakše uočavanje potencijalnih problema i bolje donošenje odluka o narednim aktivnostima.
- **Velika pokrivenost i efikasnost**
Tokom leta od 59 minuta, eBee SQ može snimiti stotine hektara, grupisane ili razdvojene parcele, potpuno automatski prema vašem planu snimanja. Sa dnevnim kapacitetom snimanja od preko 1200 ha, eBee SQ je najefikasniji bespilotni sistem za poljoprivredu na tržištu.
- **Uklapanje u postojeće radne procese**
EBee SQ se glatko uklapa u vaše radne procese kao novi alat za analizu i pomoć u odlučivanju. Obezbeđuje dragocene informacije koje omogućuju kvalitetniju analizu stanja useva i pripremu varijabilnog doziranja kod operacija đubrenja ili prskanja. Ne zahteva novu mehanizaciju, savršeno se prilagođava vašoj postojećoj opremi.
- **Ekonomičnost i brzi povrat investicije**
Zahvaljujući brojnim uštedama koje donosi, eBee SQ omogućuje povrat uloženog već u prvoj sezoni. Kompletan sistem za agronome osmišljen je po sistemu “ključ u ruke” i uključuje sve što je potrebno za snimanje i obradu podataka. Nema skrivenih troškova, sve je u osnovnom kompletu i prilagođeno budžetu poljoprivrednika.

Dron eBee SQ je opremljen multispektralnom kamerom Parrot Sequoia, specijalno projektovanom za bespilotne sisteme. Kamera Sequoia sadrži veoma precizan multispektralni senzor koji snima u 4 nevidljiva dela spektra i jednom vidljivom (RGB) – istovremeno u jednom letu. Na osnovu multispektralnih snimaka možete generisati tematske karte indeksa koje omogućuju precizno sagledavanje stanja na terenu i izradu uputstava za varijabilno doziranje, čime optimizujete operacije đubrenja ili prskanja u cilju unapređenja prinosa i smanjenja troškova.

RGB senzor je pogodan za kreiranje pregledne informativne slike u vidljivom delu spektra, ali nije primenjiv za izradu preciznih ortofoto snimaka, oblaka tačaka i 3D modela površina. U toku snimanja [83] sa bespilotnom letelicom, dron tip μ UAVs, model EBee SQ Livona RTK, tip Fixed Wings, (Sl.18 A-1), u oblasti poljoprivrede dobijeni su podaci za:

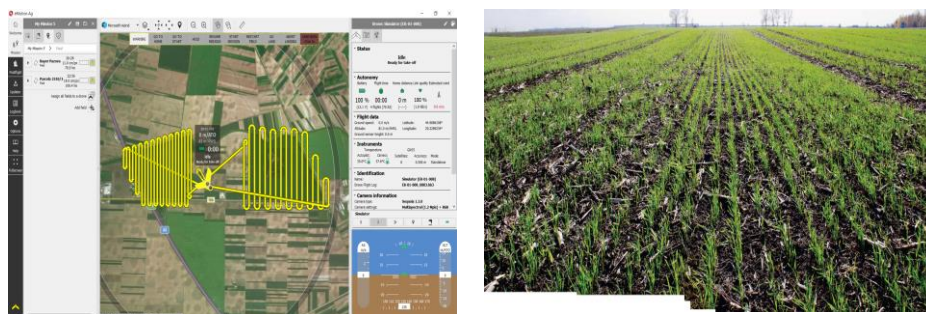
A). Multispektralnu analizu: 1. Opšte stanje useva; 2. Pojava stresa kod useva; 3. Uspešnost setve/kontrola norme; 4. Prezimljavanje useva; 5. Usvajanje azota i vode; 6. Učinak preparata za zaštitu bilja, (stanje pre i posle); 7. Procena prinosa useva.

B). Termografsku analizu: Temperatura zemljišta i biljaka; 2. Analiza vlažnosti zemljišta.

Tipična procedura primene EBee SQ Livona RTK, (Sl.18 A-1), na parcelama sa pšenicom P.P. Napredak a.d., u oblasti primene analiza tipa A, B, obuhvatila je procedure: a-Planiranje leta; b-Snimanje parcela; c-Obrada podataka; d-Analiza rezultata.

a-Planiranje leta primene EBee SQ Livona RTK

Planiranje leta i nadzor EBee SQ Livona RTK obavlja se program eMotion Ag.

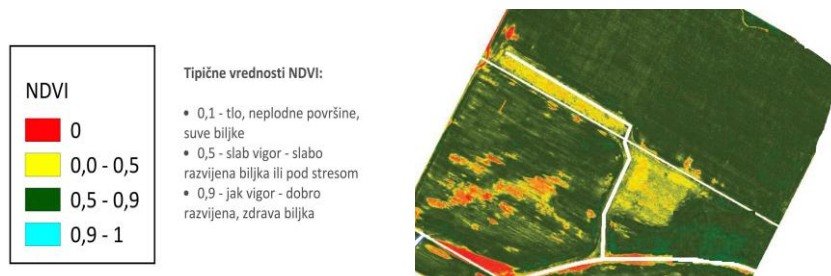


Slika 22. Plan leta drona i stanja useva pšenice, novembar 2017, [83].

Figure 22. Flight plan of drone and condition of wheat crop, November 2017, [82].

b-Snimanje parcela kamerom u toku leta EBee SQ Livona RTK

U toku snimanja multispektralnom kamerom Parrot Sequia (4x1,2 MP, 4 spektralna senzora, težina 35 gr, preciznost 12 cm/px) dobijeni su podaci potrebni za: Analizu opšteg stanja useva, tematske karte vegetacionih indeksa, indeksi stresa kod useva pšenice, za kartu stanja pšenice sa podacima: zdrav usev pšenice/%-rasprostranjenosti korova/stres kod useva pšenice.



Slika 23. Analiza opšteg stanja useva pšenice, novembar 2017, [83].
 Figure 23. Analysis of the general conditions of wheat crops, November 2017, [83].

ZAKLJUČAK

Uloga mini bespilotnih letelica ili dronova se brzo prenela sa upotreba za vojne namene, na primenu (75% od ukupnog broja) u poljoprivredi, šumarstvu (i nekim drugim delatnostima), pomažući korisnicima da nadgledaju i kontrolišu velike površine različitih namena, štedeći tim korisnicima mnogo vremena i finansijskih ulaganja u proizvodnju. Iako je nedavno pažnja o dronovima bila usmerena na kompaniju Parrot (Francuska) koje želi da ove mini letelice upotrebi za komercijalne namene, veći deo dronova očekuje perspektivnija budućnost na farmama (i velikim prirodnim rezervatima, šumama i slično). To je zato što se poljoprivredne operacije prostiru na velikim udaljenostima i uglavnom nemaju problem privatnosti ili bezbednosti koje bi sprečile korišćenje ovih letelica, kao u gradskim predelima (npr. aerodromi). Dron ima cenu od 2.000 USD za letelicu koji korisnici ili farmeri sami sastavljaju, do 250.000 USD za agrodron složene namene, koji je opremljen preciznim HD infracrvenim kamerama, senzorima i drugom video tehnologijom, je možda skupa letelica na početku, ali pristalice ove tehnologije kažu da razni podaci koje prikupljaju - od identifikovanja problema insekata, problema navodnjavanja, procena prinosa ili praćenje goveda koja su odlutala - pomažu farmerima da povrate uloženo, često za samo godinu dana. Farmeri mogu da koriste bespilotne letelice (agrodron) i da prilagode precizno svoju upotrebu pesticida, herbicida, đubriva i drugih materijala, na osnovu toga šta je potrebno na određenoj tački u polju sa usevom, (kao proces poznat po nazivu -precizna poljoprivreda), štede novac od nepotrebne i preterane upotrebe resursa, i da u isto vreme smanjuju i količinu koja može da utiče na obližnje vodotokove, i značajno utiču na čuvanje prirodnih resursa (voda i zemljišta).

Mogućnost agrodrona je značajna u efikasnoj kontroli površina za koje je ranije trebalo puno sati zbog obilazaka zemljišta peške ili terenskim vozilima.

Dron sistemi danas imaju mogućnosti snimanja kanala sa vodom, a korisni su u snimanju stanja u navodnjavanju, melioracijama, kada se vrlo lako i brzo mogu utvrditi štete od voda, insekata ili divljači, a isto tako i kontrolisati stanje vodotokova reka koju okružuju ili prolaze pored velikih poljoprivrednih imanja.

Naravno, porastom i napretkom tehnologije proizvodnje mini letelica kao agrodrona, počinje nova i bolja budućnost poljoprivredne proizvodnje.

U Srbiji danas ima malo dronova upotrebljenih za istraživanja i naučne potrebe, iako se po nekim Autorima broj ovih letelica u Srbiji kreće od 300 do 4000 komada.

Kompanija Livona d.o.o., Beograd i Institut za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivredni fakultet u Beogradu, u tehničkoj saradnji, imaju studiju i planove o implementaciji modela mikro drona EBee SK Livona RTK u narednim generalnim planovima za inspekciju, zaštitu i korišćenje zemljišta teritorije Opštine Stara Pazova (351 km²), gde je posebno mesto poljoprivredne kompanije -Napredak.

VekomGeo d.o.o. iz Beograda u saradnji sa Institutom za poljoprivrednu tehniku Poljoprivrednog fakulteta u Beogradu ima planove o implementaciji modela drona Aibot KKS6, u budućnosti primene nadzor na površinama od 600 km² (i poljoprivredna zemljišta) otvorenog kopa R.B. Kolubara.

Institut za poljoprivrednu tehniku, Poljoprivredni fakultet u Beogradu, ima planove o budućoj upotrebi modela mikro drona Hubsan H109S Ks4 PRO u inspekciji zaštite zemljišta i voda na teritoriji (456 km²) Opštine Ub.

LITERATURA

- [1] D. Krijnen, C. Dekker, AR Drone 2.0 with Subsumption Architecture, In Artificial intelligence research seminar, 2014.
- [2] A. Cavoukian, Privacy and Drones: Unmanned Aerial Vehicles, Information and Privacy Commissioner of Ontario, Canada, 2012.
- [3] A.C. Watts, V.G. Ambrosia, E.A. Hinkley, Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: classification and considerations of use, Remote Sens. 4 (6) (2012) pp.1671-1692.
- [4] L. Brooke-Holland, Unmanned Aerial Vehicles (drones):An Intro. House of Commons Library, UK, 2012.
- [5] A. Arjomandi, S. Agostino, M. Mammone, M. Nelson, T. Zhou, Classification of Unmanned Aerial Vehicle, Report for Mechanical Engineering class, University of Adelaide, Adelaide, Australia, 2006.
- [6] D. Floreano, R.J. Wood, Science, technology and the future of small autonomous drones, Nature 521 (7553) (2015) 460-466.
- [7] G. Cai, J. Dias, L. Seneviratne, A survey of small-scale unmanned aerial vehicles: recent advances and future development trends, Unmanned Syst. 2 (02) (2014) 175-199.
- [8] M. Hassanalian, A. Abdelkefi. Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. Progress in Aerospace Sciences 91 (2017) 99-131.
- [9] A.C. Watts, J.H. Perry, S.E. Smith, M.A. Burgess, B.E. Wilkinson, Z. Szantoi, P.G. Ifju, H.F. Percival, Small unmanned aircraft systems for low-altitude aerial surveys, J. Wildl. Man.. 74 (7) (2010), pp. 1614-1619.
- [10] IMAV 2010 Flight Competition, Mission Description and Rules, (<https://www.scribd.com/document/38262061/Mission-on-and-Rules-IMAV-2010>).
- [11] K. Nonami, M. Kartidjo, K.J. Yoon, A. Budiyo, Autonomous control systems and vehicles, Intell. Syst. Control Autom.: Sci. Eng. 65 (2013).
- [12] M.R. Franceschini, D.W. Meyers, K.P. Muldoon, Honeywell International Inc., Transponder-based beacon transmitter for see and avoid of unmanned aerial vehicles, U.S. Patent 7,969, 346, 2011.
- [13] L. Petricca, P. Ohlckers, C. Grinde, Micro-and nano-air vehicles: state of the art, Int. J.Aerosp.Eng. (2011).
- [14] U. Yearbook, U A S: The Global Perspective, Vol. 164, UAS Yearbook, 7th edition, 2009/2010.

- [15] C. Hockley, B. Butka, The SamarEye: A biologically inspired autonomous vehicle, In Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2010 IEEE/AIAA 29th, Salt Lake City, UT, USA, October, 2010.
- [16] M. Tafreshi, I. Shafieenejad, A.A. Nikkhah, Open-loop and closed-loop optimal guidance policy for Samarai aerial vehicle with novel algorithm to Consider wind Effects, *Int.J.Eng.Tech.Res.(IJETR)* 2 (12) (2014).
- [17] G. Cai, J. Dias, L. Seneviratne, A survey of small-scale unmanned aerial vehicles: recent advances and future development trends, *Unmanned Syst.* 2 (02) (2014) 175-199.
- [18] <http://www.71668.net/stupian/1857/hangpaifeixingqijiage/>.
- [19] M. James, C.M.S.F. McMichael, Micro Air Vehicles Toward a New Dimension in Flight, <http://www.fas.org/irp/program/collect/docs/mavauvsi.htm>), 1997.
- [20] H. Ubaya, M. Iqbal, First person view on flying robot for real time monitoring, *ICON-CSE* 1 (1) (2015) 41-44.
- [21] R. O'Connor, Developing a Multicopter UAV Platform to Carry Out Research Into Autonomous Behaviours, Using On-board Image Processing Techniques (BE Thesis), Faculty of Engineering, Computing and Mathematics, University of
- [22] H. Tanaka, K. Hoshino, K. Matsumoto, I. Shimoyama, Flight dynamics of a butterfly-type ornithopter, in: *Intelligent Robots and Systems(IROS, 2005). IEEE/RSJ International Conference*, pp. 2706-2711.
- [23] R.J. Wood, B. Finio, M. Karpelson, K. Ma, N.O. Perez-Arancibia, P.S. Sreetharan, H. Tanaka, J.P. Whitney, Progress on 'pico'air vehicles, *Int. J. Robot. Res.* 31(11) (2012) 1292-1302.
- [24] L. Shimoyama, H. Miura, K. Suzuki, Y. Ezura, Insect-like microrobots with external skeletons, *Control Syst., IEEE* 13 (1) (1993) 37-41.
- [25] M.H. Dickinson, F.O. Lehmann, S.P. Sane, Wing rotation and the aerodynamic basis of insect flight, *Science* 284 (5422) (1999) 1954-1960.
- [26] <http://www.darpa.mil/>
- [27] <http://air-vid.com/wp/20-great-uav-applications-areas-drones/>).
- [28] <https://www.microdrones.com/en/applications/>).
- [29] <http://www.nanotech-now.com/smartdust.htm>).
- [30] Mićo V. Oljača, Kosta Gligorević, Miloš Pajić, Ivan Zlatanović, Milan Dražić, Dušan Radojičić, Marković Dragan, Simonović Vojislav, Marković Ivana, Milorad Đokić, Zoran Dimitrovski (2016). *Primena drona u poljoprivredi. Zbornik radova DPT-2016.* str. 1-10. Beograd.
- [31] R.J. Yan, S. Pang, H.B. Sun, Y.J. Pang, Development and missions of unmanned surface vehicle, *J. Mar. Sci. Appl.* 9 (4) (2010) 451-457.
- [32] R. Stuchlik, Z. Stachon, K. Laska, P. Kubicek, Unmanned Aerial Vehicle-Efficient mapping tool available for recent research in polar regions, *Czech Polar Rep.* 5 (2) (2015) 210-221.
- [33] R.J. Bachmann, Biologically inspired mechanisms facilitating multimodal locomotion for areal micro-robot, in: *Proceedings of the 24th International Unmanned Air Vehicles Conference*, Bristol, UK, 2009.
- [34] P.M. Miller, Mini, micro, and swarming unmanned aerial vehicles: A baseline study, Library of Congress Washington DC Federal Research DIV, November, 2006.
- [35] S. Waharte, N. Trigoni, Supporting search and rescue operations with UAVs, In *Emerging Security Technologies (EST) International Conference on, IEEE, Canterbury, United Kingdom*, 6-7 September 2010, 2010.
- [36] L. Petricca, P.Ohlckers, C.Grinde, Micro-and nano-air vehicles: state of the art, *Int. J. Aerosp. Eng.*(2011).
- [37] <https://www.microdrones.com/en/applications/areas-of-application/search- and-rescue>).
- [38] <https://www.agricolus.com>
- [39] <http://www.simplebotics.com/2014/02/lifeguard-drone-could-save-lives.html>).
- [40] <https://www.xdynamics.com/our-drones/>).

- [41] Delft University of Technology, TU Delft's Ambulance Drone Drastically Increases Chances of Survival of Cardiac Arrest Patients, 2015, <http://www.tudelft.nl/en/current/latest-news/article/detail/ambulance-drone-tu-delftvergroot-overlevingskans-bijhartstilstand-drastisch/>.
- [42] Gerard S.E-Agriculture in Action. Drones for Agriculture. pp.1-126, <http://www.fao.org>, 2018.
- [43] A. Restas, Drone applications for supporting disaster management, World J. Eng. Technol. 3 (03)(2015) 316.
- [44] W. Jin, H.L. Ge, H.Q. Du, X.J. Xu, A review on unmanned aerial vehicle remote sensing and its application, Remote Sens. Inf. 1 (2009) 88-92.
- [45] V.I. Binenko, V.L. Andreev, R.V. Ivanov, Remote sensing of environment on the base of the microavition, in: Proceedings of the 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment, Saint Petersburg, Russia, 20-24 May, 2005.
- [46] N. Sitnikov, Borisov; Y., Akmulin; D., I. Chekulaev, D. Efremov, V. Sitnikova, A. Ulanovsky, O. Popovicheva, Unmanned aerial vehicles (UAV) in atmospheric research and satellite validation, In: Proceedings of the 40th COSPAR Scientific Assembly., Moscow, Russia, 2-10 August, 2014.
- [47] M. Hassanalian, H. Khaki, M. Khosrawi, A new method for design of fixed wing micro air vehicle, Proc. Inst. Mech. Eng. J. Aerosp. Eng. 229 (2014) 837-850.
- [48] M. Hassanalian, A. Abdelkefi, M. Wei, S. Ziaei-Rad, A novel methodology for wing sizing of bio-inspired flapping wing micro air vehicles: theory and prototype, Acta Mech. (2016). <http://dx.doi.org/10.1007/s00707-016-1757-4v>.
- [49] A. Arjomandi, S. Agostino, M. Mammone, M. Nelson, T. Zhou, Classification of Unmanned Aerial Vehicle, Report for Mechanical Engineering class, University of Adelaide, Adelaide, Australia, 2006.
- [50] Alfonso Torres-Rua. (2017). Drones in Agriculture: An Overview of Current Capabilities and Future Directions. Utah Water Users Workshop, Saint George, UT, USA. pp.1-9.
- [51] <https://support.droneDeploy.com/docs/understanding-ndvi-data>
- [52] Generate 2D and 3D information, purely from images with Pix4D.", Pix4D, <<https://pix4d.com/>> (14 March 2017).
- [53] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., Others., "Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56," Irrig. Drain. Syst. 300(9), D05109 (1998).
- [54] Hassan-Esfahani, L., "High Resolution Multi-Spectral Imagery and Learning Machines in Precision Irrigation Water Management," Utah State University (2015).
- [55] Karimi, P., Bastiaanssen, W. G. M., "Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting - Part 1: Review of the accuracy of the remote sensing data," Hydrol. Earth Syst. Sci. 19(1), 507-532 (2015).
- [56] <https://www.parrot.com/us/Business-solutions/parrot-sequoia> (14 March 2017).
- [57] Tardy, B., Rivalland, V., Huc, M., Hagolle, O., Marcq, S., Boulet, G., "A Software Tool for Atmospheric Correction and Surface Temperature Estimation of Landsat Infrared Thermal Data," Remote Sensing 8(9), 696, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (2016).
- [58] Hassan-Esfahani, L., Torres-Rua, A., Jensen, A., McKee, M., Assessment of Surface Soil Moisture Using High-Resolution Multi-Spectral Imagery and Artificial Neural Networks, R.Sensing 7(3), 2627-2646 (2015).
- [59] Sadeghi, M., Jones, S. B., Philpot, W. D., "A linear physically-based model for remote sensing of soil moisture using short wave infrared bands," Remote Sens. Environ. 164, 6676 (2015/7).
- [60] Zarco-Tejada, P. J., Miller, J. R., Mohammed, G. H., Noland, T. L., Sampson, P. H., "Vegetation stress detection through chlorophyll a + b estimation and fluorescence effects on hyperspectral imagery," J. Environ. Qual. 31(5), 1433-1441 (2002).

- [61] F. Kendoul, Survey of advances in guidance, navigation, and control of unmanned rotorcraft systems, *J. Field Robot.* 29 (2) (2012) 315-378.
- [62] A. Ollero, L. Merino, Control and perception techniques for aerial robotics, *Annu. Control* 28 (2) (2004) 167-178.
- [63] H. Chao, Y. Cao, Y. Chen, Autopilots for small unmanned aerial vehicles: a survey, *Int. J. Control, Autom. Syst.* 8 (1) (2010) 36-44.
- [64] C. Goerzen, Z. Kong, B. Mettler, A survey of motion planning algorithms from the perspective of autonomous UAV guidance, In *Selected papers from in: Proceedings of the 2nd International Symposium on UAVs*, Reno, Nevada, USA, June 8-10, 2009.
- [65] K.P. Valavanis (Ed.) *Advances in Unmanned Aerial Vehicles: State of the Art and the Road to Autonomy. Intelligent Systems, Control and Automation: Science and Eng.N* 33, Springer, The Netherlands, 2007.
- [66] M. Hassanalian, M. Radmanesh, S. Ziaei-Rad, Sending instructions and receiving the data from MAVs using telecommunication networks, in: *Proceeding of International Micro Air Vehicle Conference (IMAV2012)*, Braunschweig, Germany, 3-6 July, 2012.
- [67] J.W. Gerdes, Design, Analysis, and Testing of a Flapping Wing Miniature AirVehicle (M.Sc. Dissertation), Mechanical Engineering Dept., Univ. of Maryland, College Park, 2010.
- [68] A. Kurdila, M. Nechyba, Vision-Based Control of Micro-Air-Vehicles: Progress and Problems In Estimation, in: *Proceedings of the 43rd IEEE Conference on Decision and Control Atlantis*, Paradise Island, Bahamas, December 14-17, 2004.
- [69] K. Mathe, L. Bu^oniu, Vision and control for UAVs: a survey of general methods and of inexpensive platforms for infrastructure inspection, *Sensors* 15 (7) (2015) 14887-14916.
- [70] S. Trites Miniature autopilots for Unmanned Aerial Vehicles, *MicroPilot*, URL:<http://www.micropilot.com/>.
- [71] (<http://coolpile.com/gadgets-magazine/google-glass-controlled-flying-drone>).
- [72] (<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2970073/Would-fly-mind-controlled-plane-Scientist-pilots-drone-using-just-thoughts-technology-one-day-used-commercial-aircraft.html>).
- [73] K. LaFleur, K. Cassady, A. Doud, K. Shades, E. Rogin, B. He, Quadcopter control in three-dimensional space using a noninvasive motor imagery-based brain-computer interface, *J.N Eng.* 10 (4) (2013) 046003.
- [74] R.J. Bachmann, Biologically inspired mechanisms facilitating multimodal locomotion for areal micro-robot, in: *Proceedings of the 24th International Unmanned Air Vehicles Conference*, Bristol, UK, 2009.
- [75] P.M. Miller, Mini, micro, and swarming unmanned aerial vehicles: A baseline study, *Library of Congress Washington DC Federal Research DIV*, November, 2006.
- [76] M. Hassanalian, H. Khaki, M. Khosrawi, A new method for design of fixed wing micro air vehicle, *Proc. Inst. Mech. Eng. J. Aerosp. Eng.* 229 (2014) 837-850.
- [77] *Fortune Magazine*, mart, 2016.
- [78] <http://bestdroneforthejob.com/drone-buying-guides/agriculture-drone-buyers-guide/>
- [79] <http://uas.trimble.com/>
- [80] (<http://www.ocularrobotics.com/products/lidar/re05/>).
- [81] Lisa Caturegli, Matteo Corniglia, Monica Gaetani, Nicola Grossi, Simone Magni, Mauro Migliazzi, Luciana Angelini, Marco Mazzoncini, Nicola Silvestri, Marco Fontanelli, Michele Raffaelli, Andrea Peruzzi, Marco Volterrani. Unmanned Aerial Vehicle to Estimate Nitrogen Status of Turfgrasses. *PLOS,One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158268>
- [82] http://www.vekom.com/page.php?pro_id=160
- [83] <http://www.livona.rs/bas/>

DESIGN, CLASSIFICATION, PERSPECTIVES AND POSSIBLE APPLICATIONS DRONES IN AGRICULTURE OF SERBIA

Oljača V. Mičo¹, Pajić Miloš¹, Gligorević Kosta¹, Dražić Milan¹, Zlatanović Ivan¹, Aleksandra Dimitrijević¹, Rajko Miodragović¹, Zoran Mileusnić¹, Rade Radojević¹, Milovan Živković¹, Dragan Petrović¹, Dušan Radivojević¹, Mirko Urošević¹, Goran Topisirović¹, Branko Radičević¹, Olivera Ećim¹, Nebojša Balac¹

¹Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Institut za poljoprivrednu tehniku, Nemanjina 6, 11080 Beograd-Zemun, Republika Srbija

Abstract. The paper analyzes the possibility and the needs for the use of specific types of robots (mini unmanned aircraft with different designs and the designation of UAVs) and the possibility of using in agriculture (agrodron). The year 2015 was proclaimed (Fortune Magazine, 2016) as the year of increasing and widespread use of UAVs in various areas of human activity, especially in agriculture and forestry (75% of use). This is important for large farm areas, where UAV has many useful functions and a very cost-effective commercial application. Today, the needs for UAVs have increased sharply with various opportunities for both civilian and military needs. There is also a significant interest in the development of new drones that can autonomously fly in different environments and locations and can perform various missions and tasks. Over the past decade, a wide range of applications for drones has gained the significance that led to the discovery of various types of unmanned UAVs of different sizes and weights. In this review, the classification of UAVs ranging based on a detailed overview of the development of the drone industry in recent years, this paper demonstrates the evolution of drones and different application technologies.

Of course, this development is very advanced and revolutionary, as well as the development of mobile and smart phones and the Internet, which will open the way for many users to participate in defining the future of UAV implementation.

LIVONA Company, Belgrade, Serbia (and Institute of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture in Belgrade, in technical cooperation) has a study and plans on the implementation of the model micro drone EBee SQ Livona RTK in the future general plans for inspection of protection Soils of territory Municipality of Stara Pazova (351 km²), and agricultural company Napredak, and especially plans for soils of agriculture of R. Serbia.

VEKOM GeoCompany from Belgrade, (in cooperation with Institute of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture in Belgrade), has a study and plans on the implementation of the model of the drone Aibot KX6 model, in the future of application of agricultural soils of region Open pit Kolubara for area from app. 600 km² and the other soils of Region).

Institute of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture in Belgrade, in cooperation with Municipality of Ub, has a study and plans on the implementation of the model micro drone Hubsan H109S X4 PRO in the future plans general inspection of protection Soils and Waters of territory of Municipality Ub (456 km²).

Key words: *Drones, models, classifications, perspectives, applications in agriculture, protection soils and water in R.Serbia .*

Prijavljen: 20.06.2018
Ispravljen: 20.12.2018
Prihvaćen: 21.12.2018